

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Využití flotace ve vodohospodářství

Application of Flotation by Water Management

bakalářská práce

Autor:

Lucie Kolodějová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Iva Janáková, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Lucie Kolodějová**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904R022 Zpracování a zneškodňování odpadů
Téma: **Využití flotace ve vodohospodářství**
Application of Flotation by Water Management

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Současný stav řešené problematiky
3. Popis teorie flotace
4. Využití flotace ve vodním hospodářství
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Kmeť, S. *Flotácia*. 1. vyd., Bratislava: Alfa, 1992. 350 s. ISBN 80-05-00971-2.

Dohányos, M. et al. *Čištění odpadních vod*. Vyd. 2. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická [Praha], 1998 - iv, 177 s. : il. ISBN 80-7080-316-9.

Kučerová, R. et al. *Multimediální texty z anglického a německého jazyka - čištění odpadních vod. Ostrava. :* VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005 - 79 s. + 1 CD-ROM ISBN 80-248-0748-3.

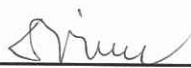
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iva Janáková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 15.04.2010




prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu


prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh jsem vypracovala samostatně a uvedla všechny použité podklady a literaturu. Ve své programové aplikaci jsem použil pramenů uvedených v bibliografii.

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 15.04.2010

.....
Lucie Kolodějová

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala paní Ing. Ivě Janákové, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky, které mi během zpracování práce poskytovala.

Anotace

Bakalářská práce se zaměřuje na využití flotace ve vodohospodářství. V první části jsou popsány využívané technologie čištění vody. Následně je popsána teorie flotace a využívané flotační stroje. V poslední části je zahrnuto praktické využití flotace ve vodním hospodářství.

Klíčová slova: flotace, vodohospodářství, flotační stroje

Summary

This thesis focuses on the use of flotation in the water management. The first part describes the use of technology of water purification. Subsequently, the theory of flotation is described and used flotation machines. The last section includes the practical application of flotation in water management.

Keywords: flotation, water management, flotation machines

Obsah:

1. Úvod a cíl práce.....	- 1 -
2. Současný stav řešené problematiky	- 2 -
2.1. Odpadní vody	- 2 -
2.2. Technologie čištění vody	- 3 -
2.2.1. Fyzikální metody čištění odpadních vod	- 3 -
2.2.2. Chemické a fyzikálně-chemické metody	- 5 -
2.2.3. Biologické metody	- 7 -
2.3. Historie flotace	- 9 -
3. Popis teorie flotace	- 10 -
3.1. Smáčitelnost	- 10 -
3.1.1. Styčný úhel	- 10 -
3.1.2. Hystereze smáčení	- 11 -
3.2. Flotační přísady	- 12 -
3.2.1. Pěniče	- 13 -
3.2.2. Sběrače	- 13 -
3.2.3. Řídící přísady	- 14 -
3.3. Pravděpodobnost flotace	- 16 -
3.4. Rychlost flotace	- 17 -
3.4. Způsoby flotace	- 17 -
3.4.1. Rozhraní kapalina - plynná fáze	- 18 -
3.4.2. Rozhraní kapalina - kapalina	- 20 -
3.4.3. Rozhraní tuhá - kapalná a tuhá - plynná fáze	- 20 -
3.5. Flotační stroje	- 20 -
3.5.1. Mechanické flotační stroje	- 21 -
3.5.2. Pneumatické flotační stroje	- 22 -
3.5.3. Pneumomechanické flotační stroje	- 23 -
3.5.4. Flotační stroje jiné konstrukce	- 24 -
4. Využití flotace ve vodním hospodářství	- 25 -
4.1. Bublinková flotace s mechanickým dispergováním vzduchu	- 25 -
4.2. Tlaková a vakuová flotace	- 26 -
4.3. Elektroflotace	- 27 -
4.4. Lontová flotace	- 28 -
4.4.1. Pěnová flotace	- 28 -
4.4.2. Flotace hydrofobních sraženin	- 28 -
4.4.3. Flotace hydrofobizovaných sraženin	- 29 -
4.4.4. Flotoextrakce	- 29 -
5. Závěr	- 30 -
Seznam použité literatury	- 31 -
Seznam obrázků	- 33 -
Seznam tabulek	- 34 -

1. Úvod a cíl práce

Odedávna považovali lidé vodu za dar přírody, který nic nestojí a je nevyčerpatelný. V dnešní době už víme, že zásoby vody nejsou nekonečné a její spotřeba stále roste s růstem počtu obyvatel, zvyšováním životní úrovně a rozvojem průmyslu a zemědělství. S tímto také souvisí neobyčejný nárůst odpadních vod, které je nutné čistit. Vyčerpanost podzemních zdrojů vod vede k tomu, že se lidé také obracejí k povrchovým vodám. Zde se ale potýkají se znečištěním vyskytujícím se v povrchových vodách (např. eutrofizace vod). Proto se při úpravě vod hledalo stále nových originálních způsobů. Jednou z velmi významných metod oddělování tuhé fáze od kapalné je flotace. [4] Flotace byla původně využívána v oboru úpravy rud a uhlí, až mnohem později se začalo uvažovat o využití této metody pro úpravu vody. Nyní je flotace běžně zaváděná do procesu čištění odpadních vod v řadě průmyslových odvětví. Flotace je separační metoda, kde jsou pevné částice oddělovány z roztoku pomocí bublinek plynu (nejčastěji vzduchu). Bublínky plynu se spojují s pevnými částicemi a vynášejí je k hladině, kde tvoří hustou pěnu a ta je následně stírána.

Cílem této práce je seznámení s možnostmi úpravy odpadní vody, teoretické vysvětlení principu flotace a flotačních strojů a praktické využití této metody ve vodním hospodářství.

2. Současný stav řešené problematiky

Voda je důležitou složkou, bez které by život na Zemi nemohl existovat. Tvoří těla živých organismů a pokrývá většinu zemského povrchu. Je to látka nejvíce používaná v průmyslu a velmi často její spotřeba převyší hmotnost výrobků. Z tohoto můžeme říct, že zabezpečit dostatek vody přiměřené čistoty je jeden z nejzákladnějších požadavků a předpokladů lidské existence.

V případě že voda není příliš znečištěná, můžeme pozorovat samočištění vody. Což v praxi znamená, že při přechodném zhoršení jakosti vody v toku se její stav může postupně zlepšovat až na úroveň původní jakosti. Toto samočištění spočívá v činnosti mikroorganismů a nižších tříd organismů, které dokáží využít přítomné organické látky jako zdroj živin a energie. Výsledek jejich činnosti je přeměna organických látek na biomasu a neškodné anorganické produkty (oxid uhličitý, voda). V současné době však samočištění vody zdaleka nestačí likvidovat množství odpadů vypouštěných do vod. [9] A protože znečištěná voda může obsahovat patogenní nebo choroboplodné mikroorganismy, je v industriální společnosti čištění a likvidace odpadní vody nezbytné. Zvládnutí péče o odpadní vody znamená ochranu životního prostředí a lidského zdraví. [8]

2.1. Odpadní vody

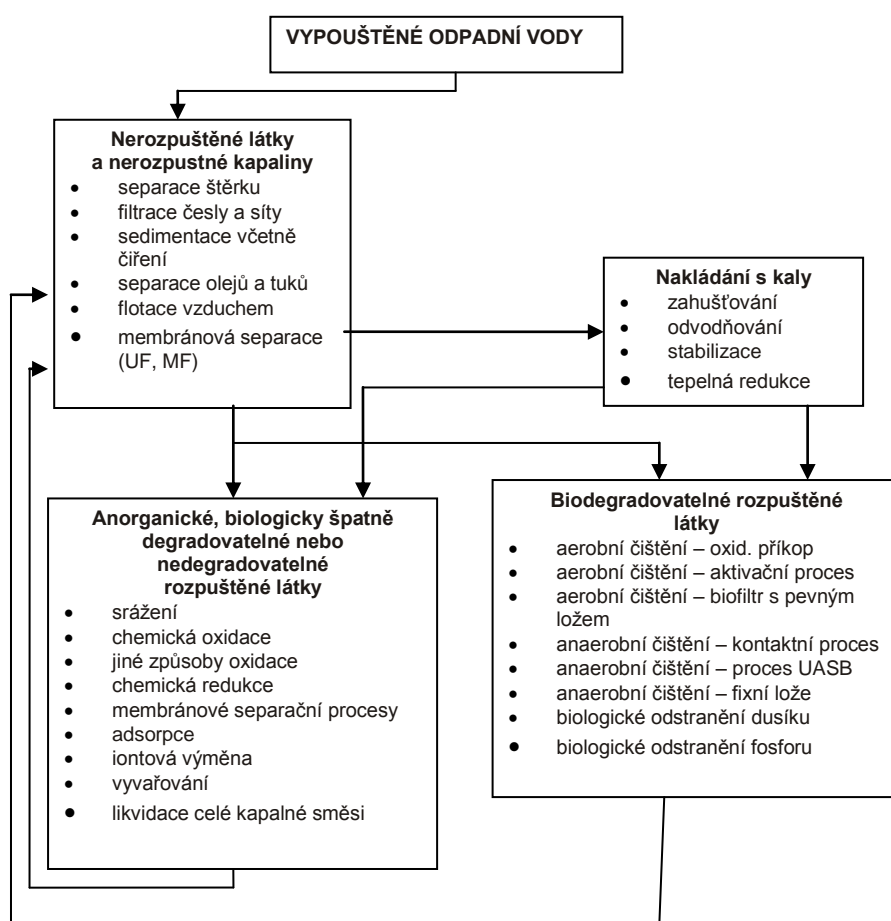
O odpadních vodách platí, že vznikají použitím čisté vody a mají vždy kvalitativně horší vlastnosti než před použitím. Dělíme je na vody splaškové a průmyslové. [9] Splaškové vody vznikají z domácností a sociálních zařízení závodů a neobsahují odpadní vody průmyslové. Splaškové vody mají většinou šedou až šedohnědou barvu a jsou silně zakalené. Průmyslové odpadní vody vznikají při těžbě a zpracování surovin nebo při výrobě v závodech. K průmyslovým odpadním vodám patří i tekuté odpady ze zemědělství. Mají svou charakteristickou barvu a složení podle toho, ze kterého průmyslového odvětví pocházejí. Městské odpadní vody patří mezi odpadní vody splaškové jen v případě, že v městě není žádný průmysl. Ovšem v posledních letech obsahuje většina městských vod vody průmyslové, a proto patří do zvláštní kategorie. [1]

2.2. Technologie čištění vody

Způsoby čištění odpadních vod můžeme rozdělit na fyzikální, chemické a biologické postupy. Pro dosažení žádaného efektu čištění vody nestačí jen jeden způsob čištění, ale je nutné tyto postupy kombinovat. Jednotný předpis pro sestavu čistírny vod nelze určit pro velkou rozmanitost složení odpadních vod v různých odvětví průmyslu.

2.2.1. Fyzikální metody čištění odpadních vod

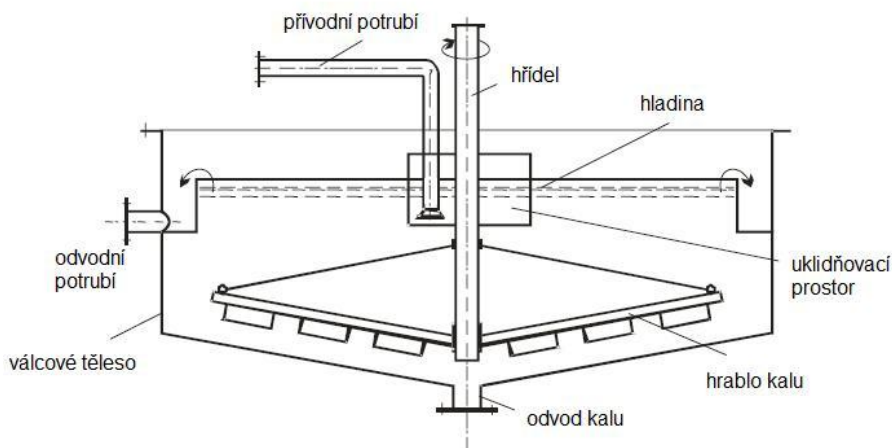
U fyzikálních metod čištění odpadních vod nedochází k přeměně látek obsažených ve vodě, ale jsou z ní odstraňovány mechanicky. Tyto metody můžeme rozdělit na mechanické předčišťování, usazování, usazování kombinované - čiření, usazování kombinované - flotace a usazování kombinované s vyhníváním kalu. [9]



Obrázek č. 1: Metody čištění odpadních vod [9]

Mechanické předčišťování je důležitý proces, protože voda obsahuje plovoucí látky, hrubší suspenze s měrnou hmotností přibližně stejnou jako má voda a látky šinuté proudem vody (písek). Tyto látky by v dalším čistícím procesu způsobovaly závady nebo by celé čištění ohrožovaly. Mezi zařízení používané při mechanickém předčišťování patří česla a síta, lapače písku, lapače tuků a rozmělnovače. [1] Česla a síta zachycují plovoucí předměty a nečistoty jako jsou hadry a klacky, které by mohly ohrozit chod čerpadel. Jsou tvořeny kovovými pruty obdélníkového nebo kruhového průřezu a jsou umístěny kolmo nebo šikmo k hladině vody. V případě nutnosti kvalitnějšího předčištění se za česla umísťují síta. Lapače písku vylučují všechny tuhé látky s měrnou hmotností větší než má voda, které nebyly zachyceny česlemi. Mezi tyto látky patří například písek a drobné kovové předměty. Lapače tuků jsou v podstatě svislé desky zasahující pod hladinu vody, tam kde je rychlost toku zpomalena. Tuky a oleje jsou zachycovány stěnou a je nutné je včas a pravidelně odstraňovat.

Usazování je fyzikální metoda, která slouží k odstraňování suspendovaných částic z odpadní vody. Což znamená odstranění jak částic těžších než voda, tak i lehčích. Může se však jednat nejen o částice přitékající do čistírny, ale i o částice záměrně vytvořené pro zvýšení čistící schopnosti flokulace, aglomerace nebo aktivního kalu. [9]



Obrázek č. 2: Usazovák s kruhovým průřezem [9]

Číření (koagulace) je proces, při kterém se z vody odstraňují koloidní organické a anorganické látky. Číření má za úkol vytvořit podmínky, ve kterých

se nečistoty přítomné ve vodě převedou do větších celků, které je možné z vody odstranit sedimentací nebo filtrací. [1] K tomu se používají koagulanty nebo flokulanty. Z anorganických látek se nejčastěji používají chlorid železitý (FeCl_3) a síran hlinitý ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Výběr flokulantu a jeho dávkování se zjišťuje experimentálně. Anorganické flokulanty se dávkuje ve stovkách gramů na m^3 čištěné vody a organické pouze v gramech. Koagulace má dvě fáze. Při koagulační fázi se za intenzivního míchání směsi přidává koagulační činidlo a dochází k neutralizaci elektrického náboje částic a následného shlukování do větších celků. Při flokulační fázi dochází ke spojování primárně vzniklých celků do větších vloček a k jejich následné sedimentaci.

Flotace zajišťuje dokonalejší oddělení suspendovaných částic z vody. Je původně vyvinuta pro rozdělování směsí tuhých částic za přidání povrchově aktivní látky. Při provzdušnění byly hydrofobní částice vynášeny k hladině a hydrofilní zůstaly v kapalině. Při čištění odpadních vod nejsou přidávány povrchově aktivní látky, protože by bylo nutné je později komplikovaně odstraňovat. Suspendované částice jsou přivedeny do styku s drobnými bublinkami vzduchu, vzniklý komplex tuhé látky a vzduchu stoupá k hladině a následně je odstraňován. Bublinky vzduchu se vytvářejí různými způsoby. Přivádění vzduchu potrubím ke dnu nádrže, kde je rozptylován otáčejícím se měsidlem, se dnes již moc nepoužívá. Častější a efektivnější je použití tlakové flotace nebo elektroflotace. [9]

2.2.2. Chemické a fyzikálně-chemické metody

Odstraňování suspendované nebo rozpuštěné látky přidáním chemických činidel nebo využitím zákonů fyzikální chemie, patří mezi chemické metody. Do této skupiny metod patří neutralizace, srážení, oxidace a redukce, adsorpce, iontová výměna a membránové separační procesy.

Neutralizace je obvykle předřazena dalším chemickým či biologickým čistícím metodám. [9] Používá se v případě že hodnota pH vody nesplňuje podmínky pro její vypouštění do toku. Příliš kyselé nebo naopak zásadité odpadní vody je nutné před vypuštěním do toku neutralizovat vhodným způsobem. V případě malých množství slabě kyselých odpadních vod lze neutralizaci provést

vypouštěním do toku. Přičemž se kyseliny z odpadní vody neutralizují hydrogenuhličitany přítomnými v říční vodě. Další neutralizační metodou je míchání kyselých a zásaditých odpadních vod. Tuto metodu využívají podniky kde vznikají vody kyselé i alkalické. Je však nutné prověřovat, nevznikají-li po změně pH vody problémy s uvolňováním toxických látek. Nejpoužívanější neutralizační metoda je přidání další chemikálie. Poněkud levné a proto nejčastěji používané neutralizační činidlo je vápenné mléko. Z pevných neutralizačních činidel je nejčastější mletý vápenec nebo dolomit. [1]

Srážení je chemická reakce, kdy přidáním vhodného chemického činidla do roztoku dojde k vysrážení části rozpuštěných iontů z roztoku ve formě sraženiny, která je ve vodě velmi omezeně rozpustná.

V dnešní době stoupají v odpadních vodách chemické sloučeniny odolávající rozkladnému působení mikroorganismů. Běžné biologické metody nejsou proto dostatečné pro potřebné vyčištění těchto vod. Proto je nutné zavádět nové technologie, které budou schopny tyto biologicky špatně rozložitelné molekuly odbourat na menší celky biologicky rozložitelné. Pro tento účel je velmi vhodná oxidace. [9]

Adsorpcí se nazývá děj, při kterém se odstraňují látky z roztoku jejich navázáním na povrch adsorbentu. Přidáme-li k roztoku nějaké látky adsorbent, dojde k jejímu navázání na povrch adsorbentu a koncentrace této látky v roztoku začne klesat. Čím je větší povrch adsorbentu, tím je pokles výraznější. [1] Nejznámější adsorbent je aktivní uhlí, ale používají se i látky přírodního původu (zeolity) a syntetické (aluminosilikáty, adsorpční pryskyřice). Tyto látky mají obrovský povrch, dosahující až stovky m^2 na gram a jsou tvořeny vysoce porézní strukturou. Adsorpční čištění vod se využívá tam, kde není vhodné biologické čištění. [9] Při adsorpci existuje několik druhů sil, které se uplatňují při vazbě mezi látkou a povrchem adsorbentu. Podle povahy sil rozeznáváme fyzikální adsorpci, chemisorpci a iontovou adsorpci. Při fyzikální adsorpci se uplatňují van der Waalovy síly. Tyto vazebné síly jsou poměrně slabé a za určitých podmínek může dojít k uvolnění navázané látky. Proto s rostoucí teplotou klesá rychlost adsorpce. [1] Chemisorpce je podmíněna chemickou reakcí mezi vázanou látkou

a adsorbentem, vytvářejí částečné chemické vazby. [9] U iontové adsorpci se uplatňuje elektrická přitažlivost mezi vázanou látkou a adsorbentem [1].

Iontová výměna je určitá varianta adsorpce, kdy dochází k výměně nebezpečných nebo nežádoucích iontů za ionty přijatelné. Tyto ionty se uvolňují ze speciálně připravené makromolekulární látky (pryskyřice). Nežádoucí ionty jsou navázány v pryskyřici a při regeneraci se uvolňují. Tato metoda se používá jako koncový stupeň čištění. Iontových pryskyřic je v současné době velké množství různých typů, ale nejčastěji se používají kopolymery divinylbenzenu se styrenem nebo akryláty.

Membránové separační procesy jsou nové metody, které doplňují dosavadní separační procesy. Je to metoda velmi ekonomická a výhodná. Využívá vlastní polopropustné membrány, kterou procházejí jen některé látky (nízkomolekulární) a jiné látky (makromolekulární sloučeniny) jsou zadržovány. Podle hnací síly procesu rozdělujeme membránové separace na tlakovou, difuzní a elektrodifuzní. [9]

2.2.3. Biologické metody

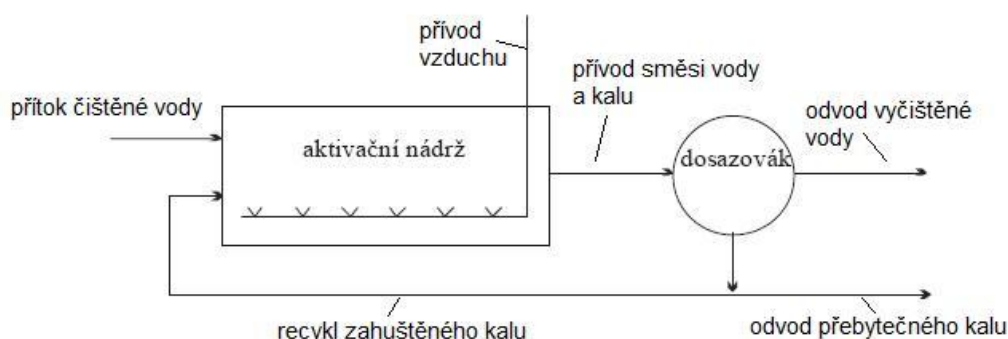
Biologické metody jsou jedny z nejstarších a nejdéle používaných metod. Je to vlastně napodobení mikrobiálních procesů, které probíhají v přírodě. Jsou to metody jednoduché, laciné, bez zbytkových látek, ale jsou hůře ovladatelné a jejich průběh je citlivý na změnu podmínek a na toxické látky, které mohou zahubit mikroorganismy. V běžných přírodních podmínkách se mikroorganismy vyskytují v každé vodě. Jsou to organismy s nejintenzivnějším metabolismem a rozmnožováním. Z hlediska metabolismu můžeme mikroorganismy rozdělit na destruenty (organotrofní organismy) a producenty (chemolitotrofní organismy). Podle zdroje energie potřebného k životu je rozdělujeme na fototrofní organismy (využívají energii světelného záření) a na chemotrofní (využívají energii chemických reakcí). Dalším důležitým rozdělením je na aerobní (vyžadují kyslík) a anaerobní (bez přítomnosti kyslíku).

Biologické čištění odpadních vod je založeno na aerobních biochemických pochodech, při kterých se rozmnožují mikroorganismy. Tyto mikroorganismy

rozkládají organické látky, aby získali mikrobiogenní prvky (C, H, O, N, P aj.), které jsou důležité pro stavbu jejich organismů a energii potřebnou k životu. Dostatečné množství kyslíku je třeba zabezpečit dostatečnou aerací. V případech kdy průmyslové vody neobsahují dostatek dusíku a fosforu, musí se tyto látky dodávat uměle. Odumřelé mikroorganismy mohou sloužit jako zdroj živin pro jiné druhy mikroorganismů. Organické látky, které jsou odstraněny z vody, se převádějí do formy biomasy.

Mezi aerobní postupy patří biologické nádrže a oxidační příkopy. Biologické nádrže či rybníky jsou mělké průtočné nebo akumulární nádrže, které pracují někdy až měsíce. Kyslík, který potřebují mikroorganismy k životu, je dodáván jen difuzí hladinou. Po napuštění se proto může stát, že se projeví nedostatek kyslíku a určitou dobu probíhají anaerobní pochody. Oxidační příkopy mají elipsovitý tvar s uzavřeným oběhem vody, různou délkou a šířkou s výškou vody maximálně 1 m. Voda příkopem protéká za současné mechanické aerace. Příkopy jsou vhodné pro nepříliš znečištěné vody obsahující biologicky dobře rozložitelné látky.

Aktivační nádrže jsou nejrozšířenější biologické metody pro čištění splaškových a průmyslových vod. Odpadní voda je přivedena do styku s aktivovaným kalem za intenzivního provzdušňování v nádržích. Aktivovaný kal je směsnou kulturou různých druhů bakterií, hub, plísní, kvasinek a dalších. Za optimálních podmínek se aktivovaný kal získává ve formě vloček, které dobře sedimentují a snadno se oddělí od vyčištěné vody. [9]



Obrázek č. 3: Schéma linky aktivační čistírny [9]

Anaerobní procesy se používají pro čištění průmyslových odpadních vod nebo pro likvidaci organických kalů. Proces lze nazvat jako anaerobní vyhnívání a zahrnuje spolupůsobení tří skupin bakterií. Výsledkem je bioplyn (metan, oxid uhličitý) a zbytkové organické látky rozpuštěné ve vodě. Při teplotách kolem 20 °C trvá rozklad 2 měsíce, při teplotách mírně nad 40 °C stačí jen 10 dní. [9]

2.3. Historie flotace

Flotace byla původně využívána pouze v oboru úpravy rud a uhlí. Své uplatnění při čištění odpadních vod z jatek a při zahušťování a zpracování čistírenských kalů našla mnohem později [4]. První návrhy na flotaci pocházejí z roku 1860, kdy W. Haynes zjistil přitažlivost mezi sulfidy a olejovitými látkami. Při této flotaci se k jemně rozemleté rudě přimíchalo velké množství oleje. Na zrna jaloviny vodou smáčitelné se olej nepřichytil, ale pokryl povrch užitečných složek a vynesl je na hladinu rmutu. [3] V roce 1877 bylo v německém patentu poprvé uvedeno použití bublin plynu jako flotační činidla k čištění odpadní vody. Bublínky plynu byly vodní páry vznikající varem vody. Později vyráběli bublinky reakcí kyseliny se suspenzí sirníku a uhličitánů. Čištění odpadní vody, kde se využívalo pro tvorbu bublinek elektrolýzy, se objevuje v britském patentu z roku 1904. V tomto období se také objevuje vakuová flotace a koncepce zavedení plynu a tvorba plynových bublinek mechanickou disperzací. V témže roce se v americkém patentu objevila aplikace rozptylování plynu porézním povrchem dna, ovšem průmyslově byl tento patent využit teprve v roce 1925 při úpravě minerálů. [4] Nastupuje období, které přetrvává dodnes, intenzivního výzkumu zaměřeného na studium vzájemného působení minerálu s reagensy a objevování nových flotačních reagensů. Současně se studují všechny jevy a procesy, které prohlubují teoretické základy flotačního procesu. [3]

3. Popis teorie flotace

Flotace je separační proces, který se používá k oddělování tuhé fáze od kapalné. Nerozpuštěné látky se spojují s mikrobublinkami plynů a vytvářejí flotační komplexy, jejichž specifická hmotnost je menší než specifická hmotnost kapaliny. V důsledku toho stoupají flotační komplexy k hladině, ze které jsou stírány. [1] Flotace se uplatňuje při úpravě nerostných surovin, při zpracování odpadních kalů z papírenského a textilního průmyslu, při odstraňování tiskařské černě ze starého papíru, ve farmaceutickém průmyslu atd. [3]

3.1. Smáčitelnost

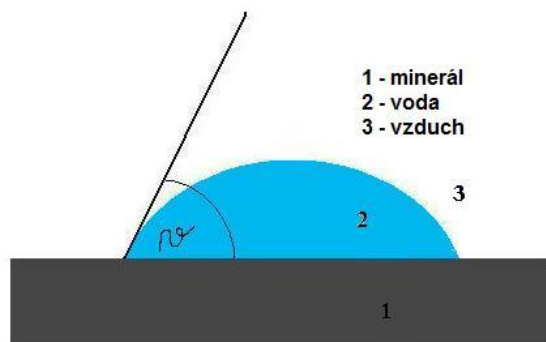
Flotace je založena na rozdílné smáčivosti složek ve směsi. Za přítomnosti vzduchových bublin se tvoří hydrofobní a hydrofilní částice. Hydrofobní částice jsou špatně smáčivé, jejich hustota je nižší než hustota okolní kapaliny, a proto jsou vynášeny k hladině. Hydrofilní částice jsou dobře smáčivé, jejich hustota je vyšší než hustota kapaliny a proto zůstávají ve rmutu. [2]

Smáčení povrchu tuhých látek doprovází uvolňování povrchové energie formou tepla. Proto lze stupeň hydrofilnosti a hydrofobnosti určit z tepla smáčení, které závisí na stupni pokrytí povrchu molekulami vázané kapaliny. Na stejném povrchu při použití dvou různých kapalin, budeme pozorovat tím větší teplo smáčení, čím menší bude rozdíl v polaritě mezi kapalinou a tuhou látkou. Smáčitelnost minerálního povrchu závisí na řadě činitelů. Patří mezi ně složení, struktura minerálu, defekty v mřížce, přítomnost cizích minerálů, mikrodrsnost a makrodrsnost povrchu, různorodost, stav a charakter povrchu způsobený složkami okolního prostředí. Smáčitelnost minerálů charakterizuje styčný úhel. [3]

3.1.1. Styčný úhel

Úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním, se nazývá styčný úhel (viz. obrázek č. 4) [5]. Ukazuje energetické poměry na kontaktu tří fází: tuhé, kapalné a plynné. V rovnovážném stavu bude mít kapka vody tvar podle povrchového napětí tří fází. Rovnovážný styčný úhel je

fyzikálně-chemická konstanta pro dané tři fáze a určují ho hodnoty specifických povrchových energií fázového rozhraní všech tří fází.



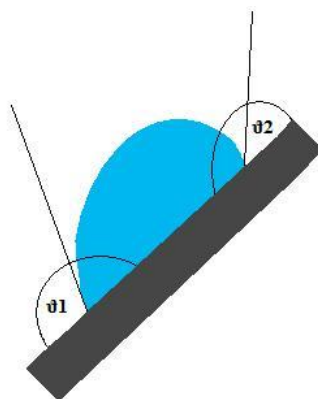
Obrázek č. 4: Styčný úhel

Styčný úhel, který svírá tečna k povrchu kapky vody s povrchem minerálu v místě styku všech tří fází, je jednou z charakteristik stavu hydrofobizace minerálního povrchu. Absolutně hydrofilní povrch je takový, na kterém se vodní kapka úplně rozptýlí, vytěsňuje vzduch a styčný úhel je roven nule. U částečně hydrofilního povrchu voda částečně vytěsňuje vzduch a styčný úhel je ostrý. Částečně hydrofobní povrch je takový, u kterého vzduch částečně vytlačuje vodu a styčný úhel je tupý. U absolutně hydrofobního povrchu vzduch úplně vytlačuje vodu z povrchu, styčný úhel je roven 180° . Ve skutečnosti ovšem absolutně hydrofobní povrch tuhých látek neexistuje. Největší hydrofobnost byla zjištěna u parafínu, kde byl naměřený styčný úhel 112° . V praxi se nejčastěji flotují minerály, které mají styčný úhel menší než 90° . Velikost styčného úhlu stejného minerálu se může pohybovat ve velmi širokém rozpětí, záleží na genezi, na podmínkách jeho vzniku v ložisku, poruchách strukturní mřížky, nerovnosti, stavu a složení při samotném měření. [3]

3.1.2. Hystereze smáčení

Bublinka, která se přichytí na minerální povrch, dosáhne rovnovážného stavu a vymezení rovnovážný styčný úhel. Když se změní úklon minerálu, může nastat případ, že v důsledku pevného spojení bublinky s minerálem, bude styková plocha nepohyblivá, její obvod zůstane stálý, ale změní se velikost styčného úhlu.

Tomuto jevu se říká hystereze smáčení (viz. obrázek č. 5). Pro velikost hysterezních úhlů (ϑ_1 a ϑ_2) k rovnovážnému styčnému úhlu platí: $\vartheta_1 < \vartheta < \vartheta_2$. Hystereze je menší na hladkém nebo hydrofilním povrchu a větší na drsném nebo hydrofobním povrchu. [3]



Obrázek č. 5: Projev hystereze

3.2. Flotační přísady

Flotační přísady (reagencie) zvyšují účinnost flotace a umožňují řízení flotačního procesu [6]. Ve flotačním prostředí ovlivňují a mění povrchovou energii fázového rozhraní mezi tuhou a kapalnou, kapalnou a plynou fází. Změnou energie na fázovém rozhraní se mění podmínky flotovatelnosti jednotlivých složek, které se mají navzájem rozdělit flotací. Touto změnou se také mění počet a velikost vzduchových bublinek a stálost tvořící se mineralizované pěny. Flotační přísady mohou být organického nebo anorganického původu. V současné době existuje okolo sedmi a půl tisíce flotačních přísad, ale v úpravnické praxi se uplatňuje jen nepatrná část. Základní požadavky na flotační přísady všech druhů jsou: vysoká selektivnost jejich působení, standardní kvalita, nízká cena, dostatek na trhu, pohodlná a lehká manipulace, stálost při skladování, lehká rozpustnost ve vodě, nesmí mít nepříjemný zápach a nesmí být toxické. [3]

Flotační přísady můžeme rozdělit na polární, nepolární a heteropolární. Polární přísady se ve vodě rozpouští, štěpí se na ionty a jsou chemicky aktivní.

Patří mezi ně elektrolyty. Nepochopitelné přísady jsou ve vodě prakticky nerozpustné, neštěpí se a mají nízkou chemickou aktivitu. Mezi nepolární přísady patří alifatické uhlovodíky. Heteropolární přísady obsahují část polární tvořenou skupinami –OH, –COOH, –NH₂ a část nepolární, která je tvořena uhlovodíkovými zbytky molekuly. Podle účinku, které přísady ve flotačním procesu vykazují, je můžeme rozdělit na pěniče, sběrače a řídicí přísady (oživující, potlačující, modifikující). [6]

3.2.1. Pěniče

Pěniče jsou organické heteropolární látky ve vodě rozpustné a přidávají se do rmutu, aby vzduchové bublinky nepraskaly a tím se vytvořila na hladině stabilní pěna. Povrchové napětí, které je na rozhraní voda – vzduch, se snaží zmenšit vzduchovou bublinku. Čím je delší uhlovodíkový řetězec heteropolární molekuly, tím více se snižuje povrchové napětí vodného roztoku.

Vhodné přísady k vodě jsou benzenové deriváty s polární skupinou OH. Je to olejovitá tekutina tmavočerné až černé barvy. Tvoří pěnu s drobnými bublinkami, která se po vysušení dobře rozrušuje. V současné době se však nepoužívá pro svou toxicitu. Nejrozšířenější přísady jsou éterické, borovicové a eukalyptové oleje. Jako umělé pěniče se používají vedlejší produkty výroby syntetických chemických látek - flotil a flotigol. Kvalita pěniče závisí na výšce, stálosti a struktuře vytvořené pěny. Spotřeba pěničů ve flotaci se pohybuje v desítkách až stovkách gramů na 1 tunu flotované suroviny. [6]

3.2.2. Sběrače

Sběrače jsou povrchově aktivní činidla působící na rozhraní tuhá fáze-kapalina [7]. Zvětšují nebo vyvolávají hydrofobnost minerálních zrn a tím umožňují jejich flotovatelnost. Hydrofobizační účinek způsobuje přítomnost nepolární skupiny v molekule sběrače. V praxi se používají heteropolární nebo nepolární sběrače, častější jsou však heteropolární sběrače. [3] Heteropolární sběrače se sorbují na polární minerální povrch vždy orientovaně, svou polární skupinou k povrchu minerálu a nepolární skupinou směrem do roztoku.

Výběrové působení sběračů na částice určitého minerálu se označuje jako selektivita sběrače a má velký význam ve flotační praxi. Sběrač se sorbuje přednostně na užitečnou složku, která vyflotuje, zatímco ostatní složky za daných podmínek tuto schopnost neprokáží. Z pohledu selektivity můžeme sběrače rozdělit na máloselektivní (sběrače na bázi olejů, mastných kyselin) a na vysoce selektivní (specifické chemické reagenty pro flotaci sulfidických rud barevných kovů).

Flotační sběrače rozdělujeme na ionogenní a neionogenní. Mnoho ionogenních sběračů jsou organické sloučeniny s heteropolární strukturou molekuly. Polární část zabezpečuje sorpci sběrače na minerální povrch a nepolární část zajišťuje potřebnou hydrofobizaci minerálního povrchu. Ionogenní sběrače dále rozdělujeme, podle náboje aktivního iontu, na anionaktivní, kationaktivní a amfoterní. Anionaktivní sběrače jsou organické činidla a jejich účinnou hydrofobizující složkou je anion. Do této skupiny patří xantogenany používané k flotaci sulfidických minerálů barevných kovů. Kationaktivní sběrače mají účinnou složku kation a patří zde především vyšší aminy a kvarterní amonné soli. Používají se při flotaci nerudných užitečných nerostů a oxidických minerálů barevných kovů. Amfoterní sběrače se štěpí na hydrofobizující anion a kation. Neionogenní flotační sběrače se používají k flotaci minerálů, které jsou přirozeně flotovatelné. Někdy se používají jako doplňující sběrače, při aplikaci ionogenních sběračů. Jde o flotační sběrače na bázi ropných a dehtových produktů.

Spotřeba flotačních sběračů bývá řádově desítky až stovky gramů na 1 tunu upravované suroviny. Dávkování je nutné určit experimentálně v závislosti na složení a vlastnostech flotované suroviny, na hustotě rmutu a velikosti částic nerostu, na teplotě a pH rmutu a mnoha dalších činitelů. [7]

3.2.3. Řídící přísady

Výběrovost flotace minerálů se většinou nemůže uskutečnit jen v přítomnosti sběrače a pěniče, ale zabezpečuje se použitím oživujících, potlačujících a modifikujících flotačních reagentů. Účinek každé řídící přísady na flotovatelnost minerálů závisí na stavu povrchu minerálu, na typu sběrače používaného ve flotačním procesu a na koncentraci ve rmutu. [6] Podle účinku

a výsledku a vzájemnému působení s jednotlivými druhy minerálních zrn flotačního rmutu můžeme řídící přísady rozdělit na oživující flotační přísady (aktivátory), potlačující flotační přísady (depresory) a na modifikátory pH prostředí.

Oživující flotační přísady zvětšují flotovatelnost určitých minerálů, nebo obnovují flotovatelnost dříve potlačených minerálů. Potlačující flotační přísady potlačují nebo ruší flotovatelnost některých minerálů, tím umožňují jejich oddělení od ostatních minerálů nacházející se ve flotačním rmutu. Modifikátory pH prostředí mění kyselost a zásaditost flotačního prostředí, působí na rozpustnost minerálního povrchu, složení rmutu a na rychlost a směr reakcí ve rmutu. Modifikátory mohou mít silný oživující nebo potlačující účinek. [3] Přehled používaných řídících přísad a jejich účinku je uveden v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Řídící přísady [6]

Aktivátory	Účinek
Síran měďnatý	Oživuje sfalerit, pyrit, arzenopyrit, antimonit a kryolit.
Chlorid barnatý	Oživuje baryt a křemen, potlačuje kasiterit a fluorit.
Dusičnan olovnatý	Oživuje sulfidy mědi a antimonit.
Sulfid sodný	Oživuje flotovatelnost sulfidů a karbonátů mědi a
Kyselina sírová	Oživuje některé sulfidy, pyrit, sfalerit a potlačuje
Depresory	Účinek
Sulfid sodný	Potlačuje flotovatelnost všech sulfidických minerálů
Kyanid draselný	Potlačuje pyrit, sfalerit a chalkopyrit.
Kyanid sodný	Společně se síranem zinečnatým potlačuje sfalerit.
Chroman draselný	Potlačuje galenit.
Modifikátory	Účinek
Hydroxid vápenatý	Používají se na modifikaci pH flotačního prostředí. Některé minerály oživuje, některé potlačuje.
Hydroxid sodný	
Kyselina sírová	Oživují pyrit a sfalerit.
Kyselina chlorovodíková	

3.3. Pravděpodobnost flotace

Ve flotačním procesu jsou milióny vzduchových bublinek a miliardy minerálních zrn. Flotace každého zrna závisí na pravděpodobnosti jednotlivých etap tohoto procesu. Mezi etapy flotace patří vzájemné působení povrchu minerálních zrn s flotačními přísadami, setkání minerálu s bublinkou, spojení minerálu s bublinkou, působení sil proti spojení a odtrhnutí, procesy probíhající v pěnové vrstvě a mnoho dalších.

Podle O. S. Bogdanova je pravděpodobnost flotace součinem pravděpodobností početných jevů probíhajících ve flotačním procesu.

$$W_F = W_S \cdot W_E \cdot W_K \cdot W_M$$

Kde:

W_F je pravděpodobnost flotace,

W_S je pravděpodobnost setkání minerálního zrna se vzduchovou bublinou,

W_E je pravděpodobnost vytvoření pevného spojení při setkání minerálu a bubliny,

W_K je pravděpodobnost zachování pevného spojení zrna a bubliny,

W_M je pravděpodobnost udržení minerálního zrna v pěně.

Pravděpodobnost flotace je tím vyšší, čím je vyšší pravděpodobnost každého jevu ve flotačním procesu. Pravděpodobnost setkání zrna se vzduchovou bublinkou (W_S) závisí na velikosti a hustotě minerálních zrn a intenzitě a charakteru promíchávání rmutu ve flotačním stroji. To znamená, že čím vyšší je koncentrace zrn a bublin na objemovou jednotku flotačního rmutu, tím vyšší bude hodnota W_S .

Pravděpodobnost vytvoření pevného spojení při setkání minerálu a bubliny (W_E) závisí na rychlosti jejich relativního pohybu. Optimální rychlost zrna a bubliny se pohybuje v intervalu od 2 do 10 cm/s.

Pravděpodobnost zachování pevného spojení zrna a bubliny (W_K) závisí na stavu povrchu, hmotnosti a tvaru minerálního zrna a na charakteru pohybu mineralizovaných bublin ve rmutu. Při vysoké turbulentci proudění rmutu hrají velkou roli setrvačné síly, které se snaží odtrhnout zrna od bubliny. Aby se spojení udrželo, je třeba použít vhodný a silný sběrač, který zabezpečí požadovanou hydrofobizaci povrchu zrn flotovaného minerálu. Aby se na povrch bublin přichytilo co nejvíce zrn, je třeba zvolit takový flotační stroj, který vylučuje turbulentní proudění rmutu v zóně mineralizace a vzestupného pohybu vzduchových bublin.

Pravděpodobnost udržení minerálního zrna v pěně (W_M) závisí také na konstrukci flotačního stroje a charakteru míchání a proudění rmutu. Vyšší hodnotu W_M můžeme dosáhnout zvýšením stupně mineralizace bublin, provzdušněním rmutu a optimalizováním poměru mezi sběračem a pěničem. [3]

3.4. Rychlost flotace

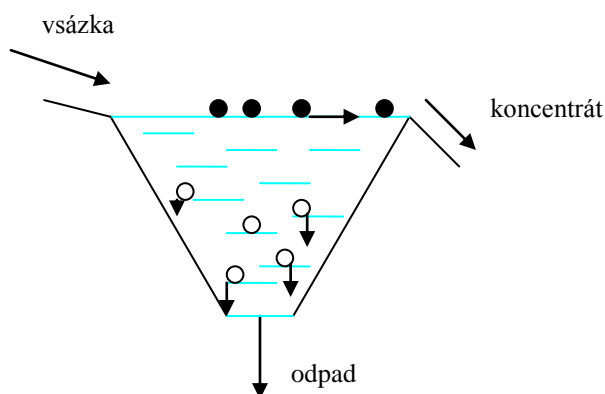
Znát časový průběh flotace má velký význam pro určení velikosti a počtu flotačních strojů a potřebné kapacity flotační úpravy. Vlastní průběh flotace můžeme sledovat podle časového rozdělení jednotlivých velikostních tříd flotovaných minerálů, poměru užitečných a neúžitečných složek, hustoty zrn, stupně hydrofobizace povrchu zrn, stupně otevření zrna, množství vzduchu, velikosti a rozdělení bublin, druhu a koncentrace reagensů ve rmutu, teplotě rmutu, poměrů proudění ve flotačním prostředí, technických charakteristik flotačního stroje a mnoha dalších. Kinetiku flotace můžeme charakterizovat jako závislost výtěžnosti flotovaného minerálu (ε) na čase (t): $\varepsilon = f(t)$. Derivace $d\varepsilon/dt$ se rovná rychlosti flotace v daném časovém momentě. Rychlost flotace podmiňuje výkon flotačních strojů, dovoluje posuzovat změny podmínek flotace a flotovatelnosti minerálů a umožňuje analyzovat vliv jednotlivých činitelů na proces flotace. [3]

3.4. Způsoby flotace

Flotace minerálů se uskutečňuje na povrchu těchto fázových rozhraní: kapalina - plyn, kapalina - kapalina, kapalina - tuhá fáze a plyn - tuhá fáze.

3.4.1. Rozhraní kapalina - plynná fáze

Flotační rozdružování minerálů, které se uskutečňuje na rovinném povrchu rozhraní voda - vzduch, se nazývá filmová flotace (viz. obrázek č. 6). Směs rozdružovaných minerálů se přivádí na hladinu vody, kde se flotovatelné zrna zachytí a prouděním jsou odváděny jako koncentrát. Neflotovatelné zrna klesají do objemu a odvádí se jako odpad. Filmová flotace se využívá při flotačně-gravitačním rozdružování na splavech, kde se zpracovávají hrubozrnné rmuty obsahující zrna velikosti 3 až 4 mm a získávají se dva samostatné koncentráty. Dobře flotovatelné minerální zrna plavající na povrchu hladiny tvoří flotační koncentrát. Neflotovatelné minerální zrna se rozdělují na splavu podle hustoty a získává se gravitační koncentrát. Pro nízkou výkonnost se filmová flotace v praxi využívá jen v kombinaci s jinými metodami. [3]



Obrázek č. 6: Rozdělení minerálů filmovou flotací

Flotační rozdružování minerálu uskutečňující se na zakřiveném povrchu rozhraní voda - vzduch se nazývá pěnová flotace. Při pěnové flotaci se rmut nasycuje bublinkami plynu - nejčastěji vzduchu. Flotovatelné minerální zrna se spojují s bublinkami vzduchu a jsou vynášena na hladinu, kde tvoří vrstvu mineralizované pěny. Pěnová flotace má v praxi největší využití. Pěnovou flotaci rozdělujeme podle způsobu nasycování rmutu bublinkami plynu. [3]

- **Obyčejná pěnová flotace:**

Při pěnové flotaci je nejdůležitější vytvoření stabilní pěny, ve které dochází k akumulaci separované látky. Vzduch se do flotačního prostředí nasává nebo přivádí pod tlakem. Přiváděný vzduch se rozptyluje ve rmutu pomocí různého zařízení - podle druhu flotačního stroje. Pěnová flotace se využívá pro odstraňování povrchově aktivních látek, ale také látek suspendovaných, emulgovaných a částečně rozpuštěných látek.

- **Vakuová flotace:**

Na provzdušňování rmutu se využívá vylučování bublinek vzduchu z roztoku flotačního prostředí. Vzduch, který je rozpuštěný ve vodě pod atmosférickým tlakem, se uvolňuje při zmenšeném vnějším tlaku. Vakuová flotace se využívá v papírenském průmyslu a průmyslu celulózy pro zachycování vláken. [4]

- **Chemická a vakuová flotace:**

Bublínky plynu jsou výsledkem chemické reakce. Například mezi kyselinou a karbonáty jalových hornin. Flotované minerální zrna se vynášejí vylučovanými bublinami oxidu uhličitého.

- **Elektroflotace:**

Využívá povrchu bublinek vodíku nebo kyslíku, které vznikají při elektrolýze. Vzniklé bublinky jsou velmi jemné a při vhodném umístění elektrod proudí do celého objemu a není třeba směs míchat. [1] Velikost bublinek se reguluje změnou intenzity elektrického proudu. Využívá se pro oddělování jemných a velmi jemných částic např. diamantu.

- **Iontová flotace**

K slabému zředěnému roztoku se přidá reagentie, která vytvoří s ionty roztoku těžkorozpustnou sraženinu. Sraženina se flotuje běžným způsobem a reagentie se získá zpět regenerací pěnového produktu. [3]

3.4.2. Rozhraní kapalina - kapalina

Flotační proces, který probíhá na povrchu rozhraní voda - olej, se nazývá olejová flotace. Ve rmutu jsou rozptýlené minerální zrna a kapky oleje. Flotovatelné minerály se přichytí na kapky oleje a udrží se na povrchu rozhraní olej – voda. Neflotovatelné minerály zůstávají v objemu rmutu.

Když je hustota oleje menší než 1, tak vytvořený agregát kapek a zrn stoupá na hladinu rmutu, kde tvoří vrstvu mineralizovaného oleje a odvádí se jako koncentrát. Jestliže se použije olej vysoké hustoty, tak se ve rmutu vytvoří těžké agregáty. Tyto agregáty klesají ke dnu a olejem nesmočené zrna se vynášejí na hladinu a odvádí se jako odpad. Olejová flotace nemá velké využití pro velkou spotřebu oleje.

3.4.3. Rozhraní tuhá - kapalná a tuhá - plynná fáze

Metodě, při které se na povrchu rozhraní voda - skleněná destička nebo voda - kovová destička přichytí některé minerály a oddělí se spolu s destičkou, se nazývá flotace na tuhé stěně. Tento způsob flotace se realizuje v tzv. flotaci na nosičích a zvyšuje se výtěžnost velmi jemných hydrofobních minerálních zrn. Jako nosiče se používají minerální zrna, na nich se působením speciálních reagentů zachytí nejjemnější zrna minerálu a spolu s nimi flotují do pevného produktu. [3]

3.5. Flotační stroje

Pro účinný průběh flotačního procesu musí flotační stroje nepřetržitě promíchávat rmut a tím udržovat minerální částice ve vznosu, vytvářet dostatečné množství jemných bublinek vzduchu, nepřetržitě odvádět pěnový a nepěnový produkt a regulovat výšku hladiny rmutu a tím i výšku stírané pěnové vrstvy z povrchové zóny. [7] Flotační stroje se v podstatě od sebe odlišují způsobem míchání a provzdušňování rmutu. Podle tohoto kritéria můžeme flotační stroje rozdělit na mechanické flotační stroje, pneumatické flotační stroje, pneumomechanické flotační stroje a flotační stroje jiné konstrukce. Práce flotačních strojů se hodnotí a porovnávají podle výtěžnosti flotované složky

do pevného produktu a kovatosti koncentráту, výkonu vztahovaného na množství upravované suroviny za čas na jednotkový objem flotační komory, podle spotřeby elektrické energie a nákladů na provoz a údržbu v přepočtu na výkon. [3]

3.5.1. Mechanické flotační stroje

Prototypem mechanických flotátorů je flotační stroj soustavy Mineral Separation z roku 1905, který byl v minulosti nejvíce rozšířeným rudným flotačním zařízením. Promíchávání a provzdušnění rmutu se uskutečňuje otáčejícím se měsidlem, které se skládá z rotoru a statoru. [7]

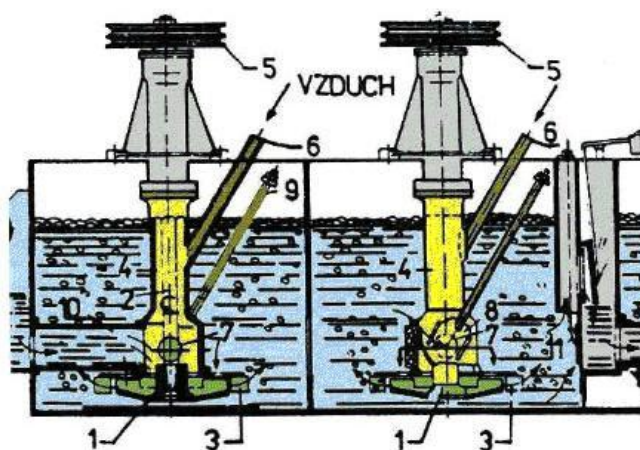
V současné době se na úpravárnách používá velké množství flotačních strojů různé konstrukce a mezi ně patří flotátory Mechanobr, Denver, Humboldt, Fagergren, Wedag, Booth a mnoho dalších. Flotační stroje se od sebe liší zejména konstrukcí měsidla. Měsidlo musí zabezpečovat dobré provzdušnění a zároveň musí vyvolávat dostatečný podtlak potřebný pro proudění rmutu z jedné flotační komory do druhé ve flotační baterii. Stupeň provzdušnění rmutu určuje obvodová rychlost rotoru a konstrukce měsidla a komor flotačních strojů. Obvodová rychlost rotoru se nejčastěji pohybuje od 7 do 8 m/s a nepřevyšuje 10 m/s. Podle způsobu proudění rmutu z jedné komory do druhé rozdělujeme flotační stroje na komorové, průtokové a komorovo-průtokové.

Komorové flotační stroje jsou konstruované tak, že se výška hladiny rmutu reguluje v každé komoře zvlášť. Rmut prochází z jedné komory do druhé přes mezistěnu, ve které je posuvný uzávěr na regulaci hladiny. Nevýhodou je právě složitá regulace hladiny rmutu.

V průtokových flotačních strojích proudí rmut z jedné komory do druhé samospádem po celé délce flotační baterie. Výška hladiny se reguluje jen v poslední komoře a tím se docílí jednotného průtoku rmutu do prostoru měsidla. Flotační komory jsou oddělené přehrádky, které nesahají až na dno, jsou umístěné na úrovni statoru měsidla a v horní části jsou níže než hladina rmutu. Nevýhodou je různá výška hladiny a proto se musí stěrače pěny nastavovat zvlášť pro každou komoru.

Komorovo-průtokové flotační stroje jsou zkonstruovány do sekcí z několika komor. První komora sekce je nasávací a rmut se přivádí bezprostředně do prostoru měsidla. Ostatní komory pracují jako průtokové. Výška hladiny se reguluje v poslední komoře každé sekce. [3]

Flotační stroj Mechanobr (viz. Obrázek č. 7) je nejvíce používaným typem mechanických flotátorů. Díky konstrukce měsidel je zde dosažena velmi dobrá cirkulace rmutu a provzdušnění rmutu ve flotační komoře. Toto provzdušnění umožňuje i flotaci relativně hrubších částic. Provzdušnění rmutu se pohybuje od 1 do 1,2 m³ nasávaného vzduchu za minutu na 1 m² plochy vodorovného profilu komory v úrovni měsidla. Flotátory Mechanobr se vyrábějí v různých velikostech, nejčastěji o objemu flotačních komor 1,4 a 2,8 m³. [7]



Obrázek č. 7: Flotační stroj Mechanobr [6]

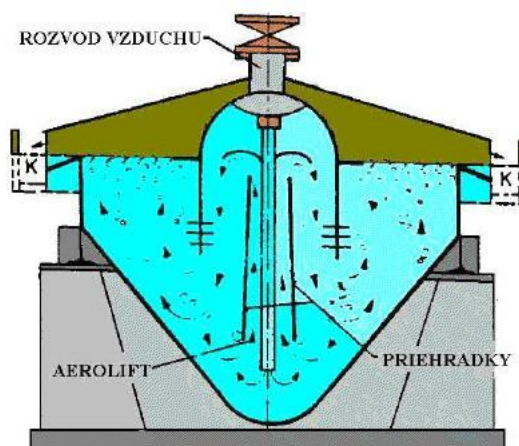
3.5.2. Pneumatické flotační stroje

Tyto stroje se konstruují bez měsidla a potřebné promíchávání a provzdušnění rmutu se dosahuje stlačeným vzduchem. Vzduch se do flotačního prostředí vhání buď pórovitým dnem, nebo trubkou shora. Pneumatické flotační stroje se i přes menší spotřebu energie používají velmi málo. Mezi tyto flotátory patří flotátory Ekof, Forrester, Southwestern, Mechanobr-AFM a jiné.

Flotátory s pórovitým dnem jsou konstruovány tak, že vzduch prochází pod tlakem přes pórovité dno, které je tvořeno z tkaniny nebo gumy. [3] Nevýhodou těchto konstrukcí je ucpávání pórů neflotovatelnými částicemi, což

výrazně snižuje provzdušňování rmutu. [7] Proto se tyto flotátory v současné době už nepoužívají.

V druhé skupině pneumatických flotátorů je vzduch přiváděn potrubím shora. Tyto flotátory mají dlouhý korytový tvar a jejich společným znakem je míchání, cirkulace a aerace rmutu na principu mamutího čerpadla. Do této skupiny patří např. flotační stroj Southwestern (viz. obrázek č. 8). [3]



Obrázek č. 8: Flotační stroj Southwestern [6]

Tyto flotátory mají vysoké uplatnění v zahraničních úpravnách. Jejich předností je jednoduchá konstrukce - nemají otáčející se části a proto nejsou náročné na údržbu. Mezi jejich hlavní nedostatky patří ucpávání vzduchového potrubí v momentě, když je flotátor mimo provoz, nedostatečné promíchávání, nízký koeficient využití vzduchu, malý výkon a nízká účinnost flotace zrn většího průměru a vyšší hustoty. [3]

3.5.3. Pneumomechanické flotační stroje

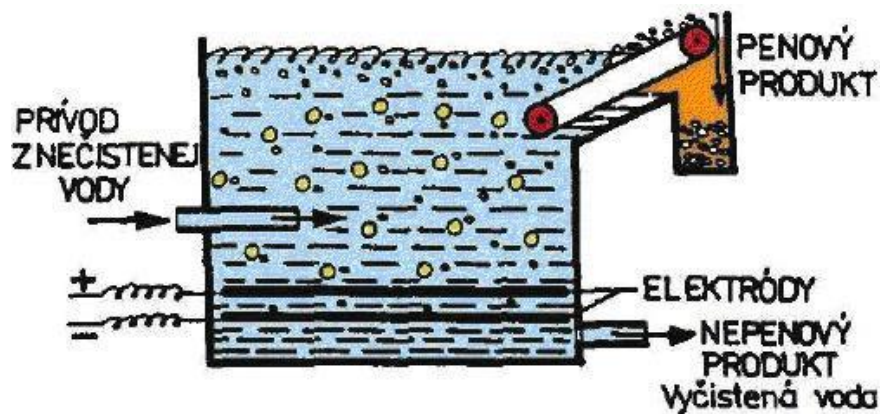
V současné době představují nejrozšířenější typ flotačních strojů. Při konstrukci těchto strojů se využilo předností mechanických a pneumatických strojů. Charakteristickým rysem je, že se rotor otáčí potřebnou rychlostí na provzdušnění a vzduch přiváděný kompresorem nebo ventilátorem není závislý na otáčkách rotoru. Proto se může přesně regulovat množství vzduchu podle potřeby jednotlivých strojů. Do této skupiny strojů patří typy Mechanobr, FPR, FPM-IMO a Davy-S. [3]

3.5.4. Flotační stroje jiné konstrukce

Do této řady flotačních strojů patří také flotační stroje pro účely čištění průmyslových odpadních vod a technologických roztoků. Pro tento účel se uplatňují flotační zařízení pro tlakovou flotaci a elektroflotaci.

Při tlakové flotaci se odpadní vody čerpají spolu s přísávaným vzduchem do tlakové nádoby a poté do vstupního oddělení flotátoru. Dostatečné množství mikrobublinek vzduchu, které vynesou flotované nečistoty do pěnového produktu, se vytvoří náhlým uvolněním tlaku. [7]

Elektroflotační stroje (viz. obrázek č. 9) provzdušňují flotační prostředí v důsledku elektrolýzy vody flotačního rmutu. Důležitou roli zde hrají elektrody katoda a anoda. V místě styku elektrody s roztokem nastávají různé elektrochemické reakce. Při elektrolýze vznikají bubliny kyslíku a vodíku. Tyto bublinky mají velmi malý průměr od 0,05 do 0,2 mm, díky tomu mají velký celkový povrch a zdržují se delší dobu ve flotačním prostředí. Tyto konstrukce flotátorů se používají na čištění odpadních vod v chemickém, potravinářském a papírenském průmyslu. [3]



Obrázek č. 9: Elektroflotační stroj [6]

4. Využití flotace ve vodním hospodářství

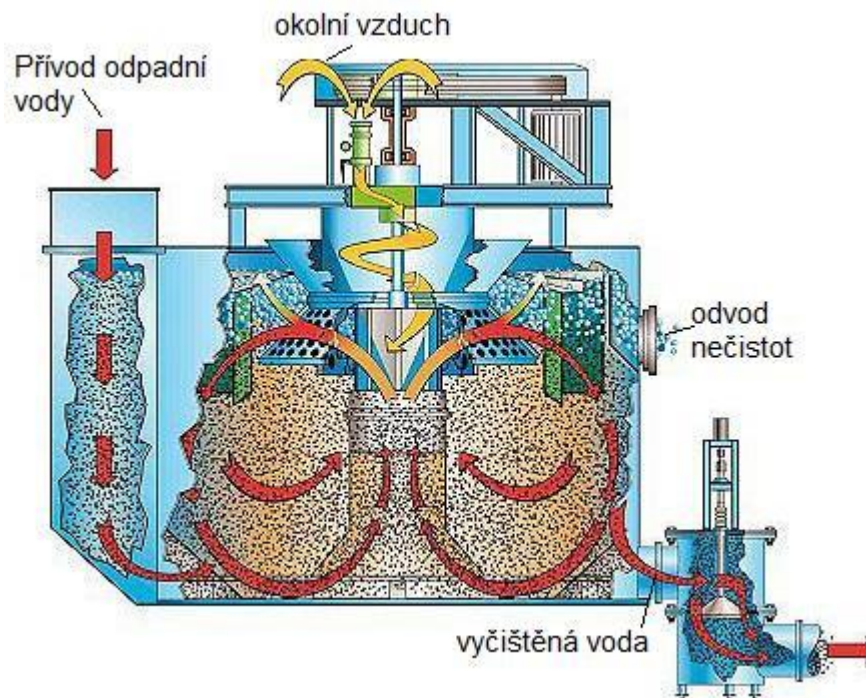
Flotace mikrobublínkami je velmi efektivní metoda pro oddělování tuhých a kapalných částic, které jsou rozptýlené v odpadních vodách. Často se využívá pro čištění průmyslových odpadních vod z ropných rafinérií, petrochemických a chemických provozů, zpracování zemního plynu a dále pro čištění odpadních vod z potravinářského a papírenského průmyslu. [10]

Z provozního hlediska je velkou výhodou flotace snadné a rychlé zapracování separačního procesu v poměrně krátké době (méně než 45 minut). Další výhodou je produkce kalu s vysokým obsahem tuhé fáze, který je snadno upravitelný. U flotace je, oproti jiným zařízením, poměrně krátká doba zadržení upravované vody a potřebné nádrže jsou hluboké maximálně 2 m [4]. Podle způsobu vzniku vzduchových (plynových) bublin můžeme flotační čištění odpadních vod rozdělit na bublinkovou flotaci s mechanickým dispergováním vzduchu, tlakovou a vakuovou flotaci a elektroflotaci. [3]

4.1. Bublínková flotace s mechanickým dispergováním vzduchu

Do této skupiny patří flotační stanice na čištění odpadních vod Wemco. Důkladné provzdušnění čištěné vody zajišťuje otáčející se měsidlo, nečistoty jsou vynášeny bublinkami vzduchu na hladinu, kde vytvářejí hustou pěnu a ta se odvádí do speciálních nádrží.

Čistící stanice Wemco (viz. obrázek č. 10) odstraňuje olejové a mastné nečistoty, organické a tuhé suspendované částice z průmyslných odpadních vod. Je schopná vyčistit velké množství odpadní vody, která obsahuje od 200 do 500 ppm oleje. Po čtyřminutovém čištění zůstane ve vodě méně jak 10 ppm oleje. Wemco se vyrábí v různých velikostech od kapacity 200 do 20 000 litrů za minutu. Umožňuje flotovat lehké a těžké uhlovodíky, maziva, mastné oleje a tuky i různorodý olejový materiál. Účinně odděluje suspendované látky jako jsou řasy a biologické látky, uhlíkaté sloučeniny a také tuhé látky (písky). [3]



Obrázek č. 10: Flotační zařízení Wemco SmartCell [11]

4.2. Tlaková a vakuová flotace

Tento proces obsahuje několik stádií. Nejprve se odpadní voda nasycuje plynem (vzduchem) a rozpustí se v objemu. Dále se účinkem tlaku nebo vakua na hladinu čištěné vody vytvoří bublinky z přesyceného roztoku a vzniknou agregáty částic nečistot a bublin. Nakonec vytvořené agregáty stoupají k hladině, kde vytvoří pěnový produkt.

Vakuová flotace se pro čištění odpadní vody používá jen ojediněle, protože při atmosférickém tlaku vzniká nízký stupeň nasycení vody vzduchem a tím se vyvine malý počet vzduchových bublin.

U tlakové flotace se nasycuje odpadní voda plynem (vzduchem) účinkem přetlaku a potom se tlak rychle vyrovná na atmosférický. Tím se vyvine dostatečný počet bublinek schopných flotovat částičky nečistot na hladinu čištěné vody. Tlaková flotace se využívá v petrochemii, celulózkách a papírnách, při výrobě plastů a pro oddělování aktivního kalu z biologicky čištěných odpadních vod. Zařízení tlakové flotace je složeno z čerpadla, tlakové nádrže, reduktoru tlaku, směšovací komory a flotační komory.

Zástupcem tlakové flotace je pneumatický flotační stroj Sonoflot FH, který se využívá na čištění odpadních vod v papírenském průmyslu. Odpadní voda se tlakovými čerpadly a samospádem přivádí přes hydrodynamický generátor do přívodní skříně. V generátoru se jemně rozptyluje vzduch do vody a provzdušněná voda proudí přes zklidňující rošt do vlastní flotační komory. Vyflotované nečistoty vytvoří na hladině hustou pěnu, která se shrnuje. Čistá voda se z flotační komory odvádí sběrnými trubkami. [3]

4.3. Elektroflotace

Zdrojem bublinek jsou elektrody umístěné v dolní části nádrže naplněné čištěnou vodou. Jednosměrný elektrický proud prochází elektrodami, elektrolyzuje vodu a produkuje bublinky vodíku a kyslíku. [10] Na kladné elektrodě (anodě) se tvoří bublinky kyslíku a na záporné elektrodě (katodě) vznikají bublinky vodíku. Bublinky jsou velmi jemně rozptýlované, jejich velikost je od 8 do 15 μm a svou velikost si udržují po celou dobu setrvání ve flotačním prostředí. [3] Rychlost vzniku bublin můžeme jednoduše změnit změnou intenzity proudu. Čím větší proud se použije, tím více se vytvoří bublin a naopak čím menší proud, tím se vytvoří méně bublin. [10] Požadovaná velikost bublinek se dosáhne vhodnou volbou elektrod, velikosti proudu a fyzikálněchemických vlastností flotačního prostředí. Elektrody jsou charakterizované svým tvarem, materiálem a mikrorelíéfem povrchu. Bublinky vodíku a kyslíku se tvoří na povrchu elektrody, v místech kde jsou výstupky, výčnělky a mikrodrsné plochy, narůstají do určitého průměru a potom se od elektrody odtrhnou. Katoda má tvar sítky z drátěného pletiva. Zmenšení průměru mikrobublin se dosáhne záměnou sítkové elektrody za kovovou a tím se zvýší efektivita čištění vody. Bublinky vodíku můžeme zvětšit, když použijeme sítkovou elektrodu z hrubšího drátu a naopak velikost zmenšíme použijeme-li tenčí drát. Síťka je vyrobena z měděného nebo nerezavějícího ocelového drátu. Anoda je vyrobena z grafitových tyčí nebo desek. Napětí na elektrodách se pohybuje od 5 do 10 V. [3]

Spotřeba elektrické energie elektroflotace na čištění odpadních vod je ovlivněna charakterem znečištění, složením a množstvím vody a konstrukcí flotačního stroje. Ovšem hlavním činitelem je materiál, ze kterého jsou vyrobeny

elektrody, rozmístění elektrod, elektrický odpor a požadované parametry procesu elektroflotace. Spotřeba elektrické energie na vyčištění 1 m³ odpadní vody z potravinářského průmyslu je 0,15 až 0,50 kWh, ale u celulózky to je 3 až 4 kWh.

Výhoda flotace je, že bublinky kyslíku vytvářené na anodě nejenže flotují částice nečistot, ale také oxidují organické složky a tím snižují hodnotu BSK. Elektroflotace se využívá v papírenském a potravinářském průmyslu a na celulózkách. [3]

4.4. Iontová flotace

Iontová flotace využívá povrchu fázového rozhraní kapalina - plyn. Využívá se na flotaci iontů a molekul z roztoku nebo sraženin ultrajemné zrnitosti. Oddělují se takto organické sloučeniny a produkty reakcí organických sloučenin s ionty nebo molekulami anorganických sloučenin. V praxi se tato metoda může využívat pro oddělování iontů těžkých kovů a stopových prvků z roztoku a ve farmaceutickém průmyslu. Iontovou flotací se může zabezpečit vysoká účinnost čištění odpadních vod a zabránit znečišťování životního prostředí. Proces iontové flotace má několik základních druhů a to pěnová flotace, flotace hydrofobních sraženin, flotace hydrofobizovaných sraženin a fotoextrakce.

4.4.1. Pěnová flotace

Můžeme ji také pojmenovat jako frakční oddělování pěnou. Je založena na schopnosti iontů a molekul tenzorů zachytit se na povrchu bublinek plynu, které prostupují roztokem, a dále se koncentrovat ve vrstvě pěny na hladině roztoku. Pěnová separace se využívá na čištění odpadních vod, přírodních vod od nečistot a také na vody, které nelze biologicky vyčistit.

4.4.2. Flotace hydrofobních sraženin

Je založena na schopnosti neželezných a ušlechtilých kovů vytvářet s alkylxantogeny, alkylmerkaptami a jinými látkami, ve vodě těžko rozpustné sloučeniny. Tyto sloučeniny vytvoří sraženinu, která má výrazně hydrofobní charakter, tudíž se můžou flotovat v přítomnosti vzduchových bublin a pěniče.

Tato flotace se využívá na získávání niklu, kobaltu, mědi, zinku, olova, vanadu a dalších kovů z odpadních roztoků hydrometalurgických procesů, důlních vod a jiných roztoků obsahujících tyto kovy.

4.4.3. Flotace hydrofobizovaných sraženin

Této flotaci předchází dvě přípravné operace. Nejprve se vytvoří sraženiny získávaných kovů a pak nastává hydrofobizace vytvořené sraženiny sběračem. Těžké kovy z odpadních vod průmyslných závodů se flotují tak, že se nejdříve vysrážejí ferokyanidem draselným, potom se přidá želatina a sběrač a následně se vyflotují. Existuje i způsob selektivního získávání těžkých kovů postupně z roztoku, u kterého se postupně mění pH. Tím se vytvářejí podmínky na tvorbu sraženin určitého kovu ve formě hydroxidu, který se následně hydrofobizuje a vyflotuje. Postupným zvyšováním pH můžeme získávat nejdříve hydroxid železitý, potom hydroxid mědi, zinku, niklu a kobaltu. Flotace hydrofobizovaných sraženin má malou spotřebu reagensů a vysokou rychlost procesu.

4.4.4. Flotoextrakce

Princip flotoextrakce je, že se ve vrstvě dokonale provzdušněného organického rozpouštědla vytvoří hydrofobní sloučeniny, které jsou vynášeny bublinkami na hladinu roztoku. Výhodou je malá spotřeba sběrače a rozpouštědla. [3]

5. Závěr

Tuto práci jsem zaměřila na využití flotace ve vodohospodářství. Nejprve jsem uvedla technologické procesy čištění vod a jejich metody, kde jsem se snažila přiblížit problematiku čištění odpadních vod a popsat některé z metod. Pro dokonalé vyčištění nelze použít jen jednu metodu čištění, ale je tyto metody třeba kombinovat. Dále jsem nastínila historický vývin flotace a uvedla základní teorii flotačního procesu. V další kapitole jsem se zabývala praktickým využitím flotace pro čištění vod, kde jsem také uvedla ve kterých odvětví je tato metoda nejvhodnější.

Dospěla jsem k závěru, že každá čistírna je zaměřená na odlišné typy vod, a proto se flotační stanice konstruuje podle druhu znečištění tak, aby splnila co nejefektivnější a nejekonomičtější vyčištění. Flotace je druh separace, který je v neustálém vývinu.

Seznam použité literatury

- 1) DOHÁNYOS, Michal; KOLLER, Jan; STRNADOVÁ, Nina. *Čištění odpadních vod*. druhé. Praha : VŠCHT, 1998. 177 s. ISBN 80-7080-316-9.
- 2) POUCHLÝ, Julius . *Úhel smáčení* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze : Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005. Integrovaný systém elektronických studijních opor VŠCHT Praha. VŠCHT. Dostupné z WWW: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/uhel_smaceni.html.
- 3) KMEŤ, Stanislav. *Flotácia*. 1. vydanie. Bratislava : Alfa, 1992. 352 s. ISBN 80-05-00971-2.
- 4) HUBÁČKOVÁ, Jana; ERBEN, Vladimír. *Využití flotace při procesu úpravy vody*. 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav vodohospodářský ve Státním zemědělském nakladatelství, 1989. 120 s.
- 5) *ÚCHI VŠCHT Praha* [online]. 2009 [cit. 2010-03-24]. VŠCHT. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchi/michani/flotace/princip.htm>.
- 6) Flotácia. In *Úpravníctvo*. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2005 [cit. 2010-01-13]. Dostupné z WWW: http://web.tuke.sk/hf-knkaso/slovak/U-text/UPR/7_flotacia.pdf.
- 7) VIDLÁŘ, Jiří; HODEK, Oldřich. *Základy úpravy užitkových surovin*. 1. vydání. Ostrava : Vysoká škola Báňská v Ostravě, 1985. 423 s.
- 8) KUČEROVÁ, Radmila, et al. *Multimediální texty z anglického a německého jazyka - čištění odpadních vod*. Ostrava : Vysoká škola Báňská v Ostravě, 2005. 79 s. ISBN 80-248-0748-3.
- 9) SÁKRA, Tomáš. *Modul 4: Ochrana vod* [online]. [s.l.], 41 s. Modul. VŠB-TUO. Dostupné z WWW: <http://www.hgf.vsb.cz/shared/uploadedfiles/hgf/EV-modul4.pdf>.
- 10) VIDLÁŘ, Jiří . FLOTATION IN WATER TECHNOLOGY [online]. Ostrava, 2007. 39 s. VŠB – Technical University of Ostrava.

- 11) Mining-technology [online]. 2010 [cit. 2010-03-01]. Dostupné z WWW:
<http://www.mining-technology.com/contractors/filtering/dorr_oliver/dorr_oliver1.html>.

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Metody čištění odpadních vod.	3
Obrázek č. 2: Usazovák s kruhovým průřezem.	4
Obrázek č. 3: Schéma linky aktivační čistírny.	8
Obrázek č. 4: Styčný úhel.	11
Obrázek č. 5: Projev hysteréze.	12
Obrázek č. 6: Rozdělení minerálů filmovou flotací.	18
Obrázek č. 7: Flotační stroj Mechanobr.	22
Obrázek č. 8: Flotační stroj Southwestern.	23
Obrázek č. 9: Elektroflotační stroj.	24
Obrázek č. 10: Flotační zařízení Wemco SmartCell.	26

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Řídící přísady.

15